



Владимир Эскин,  
к.э.н., управляющий партнер  
ООО «НТЦ Транссистемотехника»

# ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОДЪЕЗДНОГО ПУТИ КРУПНОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА: НА ПУТИ К МУЛЬТИАГЕНТНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

## Часть II

**Аннотация.** Большинство крупных корпораций Российской Федерации считает для себя железнодорожную логистику непрофильной функцией. Как следствие, развитие этой функции заторможено, инвестиции поступают в основном на ремонт вагонов, локомотивов и подъездных путей или приобретение новых вагонов взамен изношенных для поддержания экономической безопасности бизнеса. Однако существуют организационные и программно-технические решения, которые могли бы осуществить прорыв в этой области в части повышения производительности логистических активов и снижения удельных логистических затрат.

**Ключевые слова.** Система автоматической идентификации подвижного состава, радиочастотная идентификация, кодовый бортовой датчик (КБД), пункты считывания, автоматический промышленный документооборот, информационно-управляющая система, мультиагентные технологии.

**Annotation.** Most major corporations of the Russian Federation consider railway logistics as non-core function. As a consequence, the development of this function is hindered, investments are made, mainly to repair wagons, locomotives and railways or to purchase new wagons instead of worn out to maintain economic security of business. However, there are organizational and software-technical solutions that could make a breakthrough in this area in terms of increasing the productivity of logistics assets and reducing specific logistics costs.

**Key words.** Automatic identification system for rolling stock, radio frequency identification, radio frequency tag; reading points, automatic industrial workflow, information management system, multi-agent technologies.

### Совокупность программных и технических решений по управлению подъездным путем предприятия

Если мы посмотрим на структуру ИС управления корпорацией, состоящей из ряда крупнотоннажных промышленных предприятий непрерывного цикла производства, то в упрощенном виде увидим трехуровневую композицию. На нижнем уровне предприятий в качестве основы лежит АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическими процессами). Следующий уровень – MES (manufacturing execution system), система управления производственными процессами, для которой АСУ ТП – один из основных источников данных. MES, по сути, является буфером между АСУ ТП и кор-

поративной ERP-системой (Enterprise Resource Planning) – системой интегрированного управления корпорацией.

К сожалению, до недавнего времени построить базовый аналог АСУ ТП в управлении ж/д работой было сложно: практически не существовало технических решений, позволяющих в режиме онлайн отслеживать перемещение вагонов и локомотивов на протяженных подъездных путях крупных промышленных предприятий. Однако с развитием систем спутникового мониторинга и радиочастотных технологий такие системы появились. Более того, по своей стоимости они вполне адекватны тем эффектам, которые за собой несут. Требование точности позиционирования ж/д объектов (в первую очередь маневровых локо-

мотивов) для управления подъездными путями промышленных предприятий в режиме реального времени может обеспечиваться только дорогостоящими системами спутникового мониторинга с наличием не менее трех базовых станций. Однако применение бортовых датчиков (КБД) и пунктов считывания (ПСЧ) в сочетании с недорогими системами космического мониторинга, используемыми в автомобильном транспорте, дает возможность с достаточной точностью идентифицировать местонахождение подвижного состава. ПСЧ устанавливаются в ключевые места, значимые для управления технологией и коммерческой и грузовой работой: входная и выходная горловина; точки, необходимые для контроля за технологическим процессом

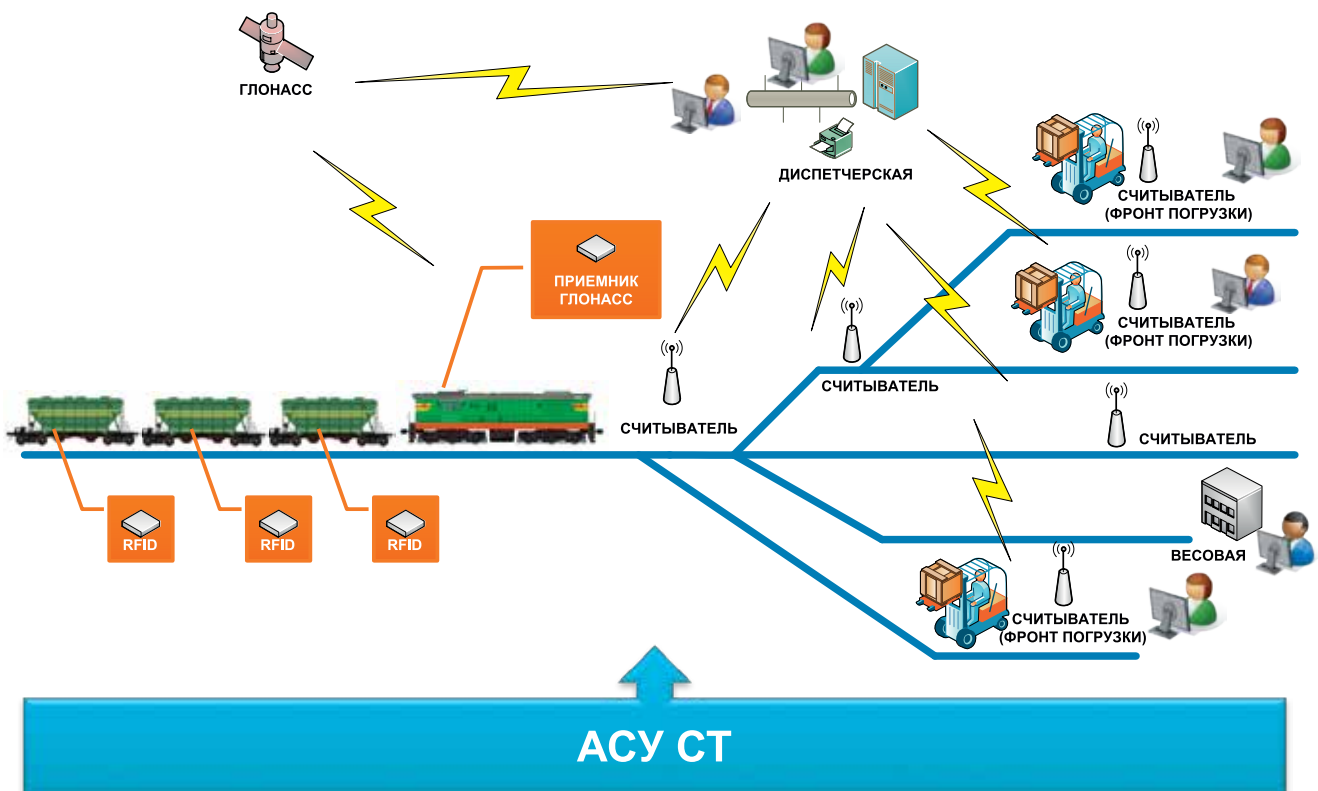


Рисунок 1. Совокупность программно-технических решений в управлении подъездным путем предприятия  
 Источник: разработано автором

работы; все входы на погрузо-выгрузочные пути; вход и выход на путь, на котором работает весовая; на контрольных постах захода/выхода локомотивов в депо и т.д. (рис. 1).

КБД состоит непосредственно из радиочастотной метки (рис. 2) и защитного кожуха для обеспечения механической защиты датчика (рис. 3). Необходимо отметить, что на российских железных дорогах и дорогах стран СНГ применяется система автоматической идентификации подвижного состава (САИ ПС), совместимая с американской системой Amtech в соответствии со стандартом ISO-10374. САИ ПС прошла большой путь развития и на сегодняшний день устойчиво функционирует на сети российских железных дорог. Это позволяет легко интегрировать системы управления подъездным путем предприятия со станциями примыкания ОАО «РЖД». Архитектура САИ ПС представлена на рис. 4.

САИ ПС на подъездных путях промышленных предприятий, к сожалению, активно не внедряется, хотя весь новый подвижной состав уже несколько лет оснащается КБД. По своей сути САИ ПС является аналогом АСУ ТП для логистики. На рис. 1 показано взаимодействие АСУ СТ (автоматизированной

системы управления станцией) с САИ ПС. АСУ СТ, таким образом, исполняет роль MES-уровня в целостной системе АСУ ТЛ (автоматизированной системы управления транспортной логистикой) корпорации, которая, в свою очередь, является аналогом ERP для логистики корпорации.

С использованием САИ ПС можно решать целый ряд задач на новом качественном уровне без влияния человеческого фактора:

- контроль подачи/уборки и простоя вагонов на станциях примыкания и на подъездных путях предприятия;
- контроль нахождения вагонов под грузовыми операциями на фронтах погрузки/выгрузки;
- контроль исполнения внутриводских технологических операций;
- автоматизированное планирование текущего ремонта, контроль нахождения вагонов/локомотивов в ремонте;
- акустическая диагностика состояния букс (мониторинг тормозной системы);
- контроль исполнения технологических нормативов;
- контроль использования погрузо-разгрузочной техники (погрузчики, ричстакеры);

■ создание автоматизированного модуля промышленного документооборота (рис. 6).

Диспетчерский персонал при наличии развитой информационно-логистической системы (АСУ СТ + АСУ ТЛ) после ввода в эксплуатацию САИ ПС превращается, по сути, в онлайн-нормировщик. Ручной ввод времени осуществления всех технологических операций, который сегодня производят диспетчеры, становится ненужным. Диспетчерскому персоналу вместо этой рутинной операции вменяется контроль за соблюдением технологических нормативов со стороны всех участников процесса (машинисты локомотивов, составители поездов, бригады погрузки/выгрузки, ремонтники и пр.). Элементы логического контроля помогут диспетчерам вовремя сделать указания персоналу о недопустимых параметрах работы, таких как превышение или занижение скорости при перемещении вагонов, превышение времени погрузки/выгрузки, превышение времени осуществления текущего ремонта, допущение работы на холостом ходу локомотивов между осуществлением операций в теплое время. Причем эти указания могут передаваться персоналу в виде автоматизированных сообщений/уведомлений на мобильные устройства.



Рисунок 2. Радиочастотная метка  
Источник: фото автора

Интеграция САИ ПС с CRM-модулем (модулем взаимодействия с контрагентами), с модулем сменно-суточного планирования и модулем электронного декларирования дает возможность создать подсистему промышленного документооборота (рис. 5), в которой генерация всех сопроводительных документов на продукцию будет происходить с минимальным участием персонала, предельно быстро, без ошибок, вызываемых субъективным фактором, и с возможностью за счет элементов логического контроля минимизировать ошибки практически до нулевого уровня. Увязка в этой подсистеме конкретного вагона с его сменным заданием, грузовым фронтом и весом продукции (через информацию от электронных весов, независимо от их местонахождения в производственно-технологическом процессе: фронт погрузки (статические весы) или специальный путь с динамическими весами) и данных грузополучателя/покупателя через CRM-модуль, включая возможности электронного декларирования, позволяет создать пакет необходимых документов независимо от направления отгрузки (экспорт или внутренний рынок). Дальнейшая интеграция с модулями ERP-системы позво-



Рисунок 3. Защитный кожух для обеспечения механической защиты КБД  
Источник: фото автора

ляет автоматизировать работу с дебиторской/кредиторской задолженностью, роботизировать генерацию претензионных писем контрагентам, создавать систему напоминаний и указаний, сформированных на основе элементов логического контроля и с учетом профилей риска тех или иных операций.

Можно сказать, что использование САИ ПС в интеграции с рядом других корпоративных ИС позволяет решать весь спектр задач управления логистикой на совершенно новом качественном уровне.

### Использование мультиагентных технологий в процессе планирования и управления работой железнодорожного подразделения крупного промышленного предприятия

Традиционные подходы к управлению не могут быть эффективно применимы к сложным адаптивным системам, характеризующимся высокой степенью неопределенности. К подобным системам относятся логистические подсистемы крупных промышленных предприятий, на функционирование которых в оперативном режиме влияет целый ряд вероятностных факторов: внеплановые остановки производства, проблемы с персоналом, поломки объектов логистической инфраструктуры, повреждение транспортных средств, нарушение упаковки, погодные явления при транспортировке морским транспортом, высокая волатильность ценовых параметров рынка, отказ потребителей от поставок, финансовая нестабильность

и кризисные явления в экономике. Мы не в состоянии контролировать каждый шаг в решении проблем. Мы также не можем устранить неопределенность, упрощая сложные ситуации, так как любое изменение в связях изменит результирующее поведение системы, возможно, очень существенным и непредсказуемым образом.

Применение к сложным ситуациям жестких алгоритмов и неповоротливых иерархических структур или негибких бизнес-процессов приводит в итоге к неэффективным решениям. Жесткое директивное планирование не будет адекватным в условиях часто происходящих непредвиденных событий, нарушающих равновесие в системе – в таких условиях планы быстро перестают соответствовать действительности.

Для эффективного адаптивного управления сложными ситуациями и системами и максимального достижения запланированных результатов необходимо использовать принцип адаптивной перестройки решений и планов действий по событиям в режиме реального времени.

Существует ряд трудностей в моделировании сложных адаптивных систем, поскольку последние часто не имеют четких границ (товарно-материальные потоки проходят через производство, склады и терминалы, погрузо-разгрузочные устройства, транспортные сети, порты и пр.), чувствительны к малейшим событиям, характеризуются слабо детерминированным поведением (особенно потребители продукции, разнообразные подрядчики и субподрядчики, различные сервисные организации), неравновесием связей.

Проектирование и моделирование сложных адаптивных систем в настоящее время следует назвать скорее искусством, чем наукой.

При моделировании сложных систем для управления крупными предприятиями можно сформулировать два основных правила:

- модель должна отличаться необходимым уровнем детальности, т.е. необходимо, чтобы количество создаваемых программных агентов соответствовало глубине проработки бизнес-модели;
- модель должна обладать необходимым уровнем адаптивности, будучи настолько сложной, чтобы обеспечивать возможность для адаптации к изменениям, испытываемым моделируемой системой, и чтобы адаптация отличалась автономностью (без ожиданий инструкций пользователя).



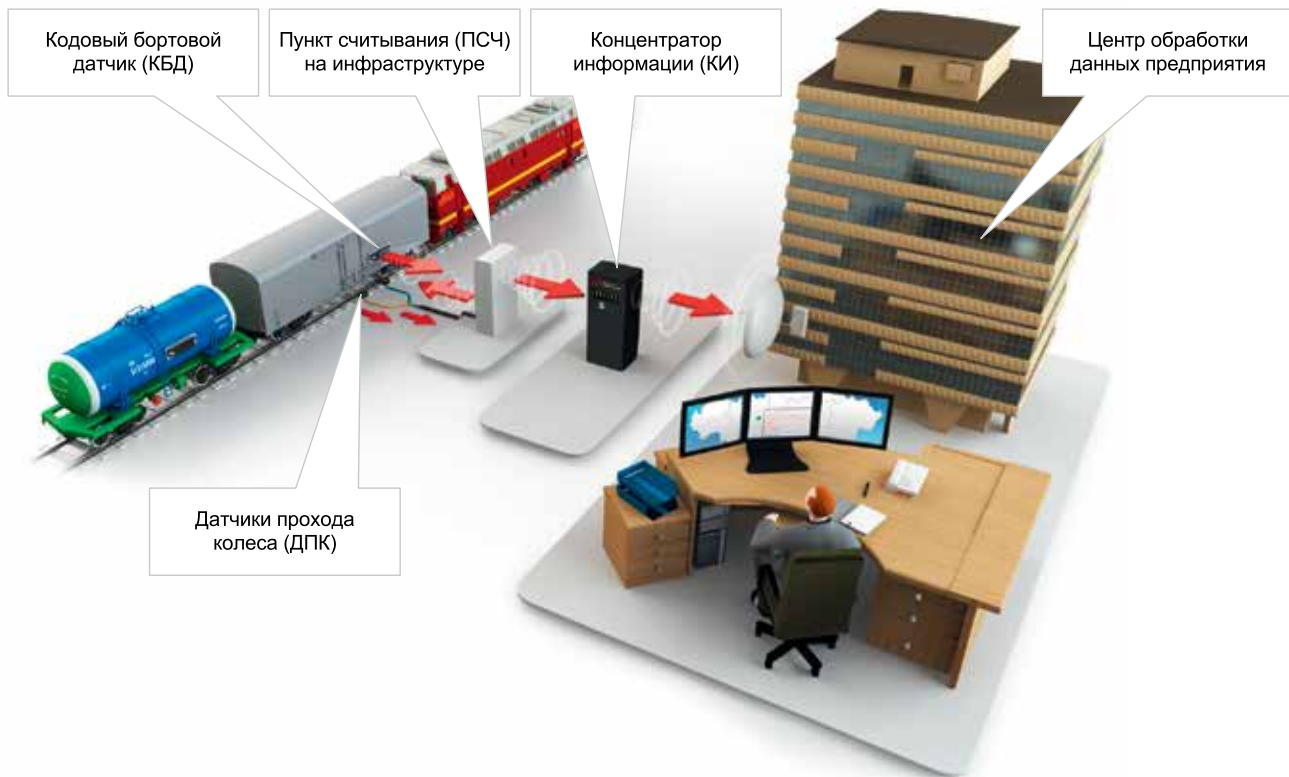


Рисунок 4. Архитектура САИ ПС

Источник: из презентации системы автоматической идентификации подвижного состава «Пальма»

Действительно, каждый современный руководитель крупной производственно-сбытовой структуры мечтает о компьютерной модели, не только отображающей во всех деталях текущий производственно-сбытовой процесс, но и позволяющей в скользящем режиме прогнозировать все показатели бизнеса, включая возможные точки потерь эффективности. Современные моделирующие системы не могут использоваться для моделирования сложных адаптивных ситуаций и структур, так как не являются адаптивными по своему устройству и не способны меняться самостоятельно путем самоорганизации. Эти системы управления обычно требуют привлечения разработчиков-программистов к самым незначительным изменениям в логике работы, что значительно удорожает эксплуатацию.

Одним из подходов, которые способны обеспечить действительную адаптивность и стать мощным инструментом моделирования сложных самоорганизующихся систем, является подход, базирующийся на мультиагентных технологиях:

- мультиагентные технологии – новое перспективное направление в области интеллектуальных информационных технологий на стыке объектно-ориентированного программирования, параллельных

вычислений, искусственного интеллекта и телекоммуникаций;

- мультиагентные технологии – это не только новая программная технология, но и подход к решению сложных задач, которые трудно решаются или не решаются вовсе в классической математике;
- в этих целях мультиагентные технологии позволяют создавать интеллектуальные системы нового поколения (в отличие от традиционного механистического понимания искусственного интеллекта), базирующиеся на фундаментальных принципах самоорганизации и эволюции, присущих живой природе, например колонии муравьев или рою пчел;
- в качестве концептуального базиса для создания моделей сложных адаптивных систем и методов адаптивного управления предлагается концепция сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей), развивающая холонический подход к созданию мультиагентных систем управления ресурсами в реальном времени;
- основным методом адаптивной перестройки ПВ-сети в разрабатываемых системах является метод компенсации, позволяющий пересматривать уже установленные ранее связи в ПВ-сети по событиям в ре-

альном времени в консенсусе затронутых изменениями агентов;

- мультиагентные системы удовлетворяют критериям сложных адаптивных систем и потому могут являться практически средством для управления сложными системами в реальном времени [2].

Создание интегральной информационной платформы с применением САИ ПС позволяет всерьез задуматься о применении прогрессивных мультиагентных технологий для более эффективного решения операционных задач в области управления подвижным путем крупного промышленного предприятия. Мультиагентные технологии обеспечивают возможности для создания системы поддержки принятия управленческих решений (СППР), в том числе и в оперативном контуре, как интеллектуальной системы адаптивного планирования и управления в режиме реального времени. В упрощенном виде эта система выглядит следующим образом:

- в виртуальном пространстве отображается модель реальных событий производственной деятельности ж/д подразделения (с применением САИ ПС в сочетании с системой спутникового мониторинга точности и оперативности этой модели существенно возрастают);

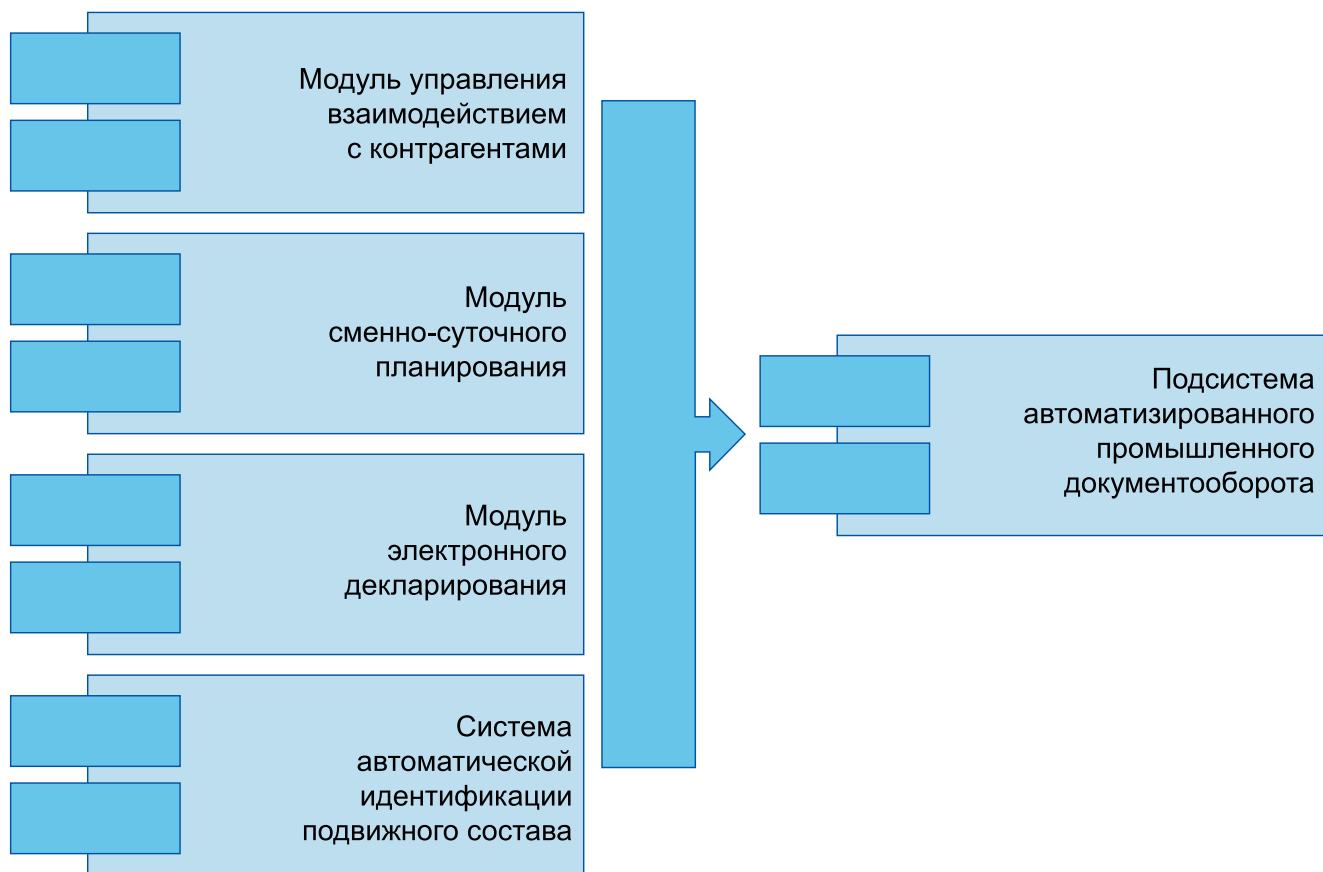


Рисунок 5. Интеграция информационных систем  
 Источник: разработано автором

- программные агенты – это малые вычислительные машины, представляющие интересы реальных объектов в виртуальном пространстве;
  - агенты целеориентированы (для каждого агента постоянно актуализируется набор ключевых целей);
  - агенты обладают возможностью общаться между собой по схеме «каждый с каждым»;
  - агенты мотивируются специальным образом на достижение поставленных целей;
  - агенты знают ограничения, связанные с работой реального объекта, интересы которого они представляют.
- Число программных агентов может исчисляться десятками и сотнями, и они могут быть самыми разнообразными:
- агент локомотива, «заботящийся» о наиболее эффективном (производительном) использовании локомотива и о безопасности движения;
  - агент грузового фронта, отвечающий за скорость и качество погрузки;
  - агент текущего ремонта, отвечающий за качество и производитель-

- ность ремонтных работ, снижение непроизводительных простоев;
  - агент топлива, отвечающий за оптимизацию расхода топлива, его качество и цену;
  - агент склада (запасов);
  - агент товара (качество и направление отгрузки);
  - агент ж/д полотна (безопасность движения);
  - агент пути/участка;
  - агент сменно-суточного плана, отвечающий за минимизацию отклонений от его выполнения.
- Интеллектуальная система адаптивного планирования и управления должна перестраивать сменно-суточный план в реальном времени при возникновении любых непредвиденных событий.
- Из наиболее близких в отраслевом смысле проектов практического внедрения мультиагентных технологий можно привести пример создания системы оперативного планирования и управления, применяемой при движении скоростных поездов «Сапсан» на Октябрьской железной дороге.
- Поставленная задача заключалась в разработке интеллектуальной систе-

мы адаптивного планирования и управления движением поездов на крайне оживленной магистрали Москва – Санкт-Петербург [3–5]. На момент постановки задачи высокоскоростные экспрессы часто отставали от расписания в основном по причине нарушений ж/д полотна и проведения внеплановых ремонтов, что также сказывалось на движении всех других поездов, внося серьезные задержки (иногда до 8 ч).

Главная цель разработки состояла в том, чтобы обеспечить скорейший возврат высокоскоростных поездов класса «Сапсан» к своему расписанию в случае возникновения непредвиденных событий.

Инфраструктура этого участка включает около 700 км ж/д путей, разбитых на 5 полигонов из 49 станций с 48 сегментами путей (около 14 из них имеют по 3 пути, но большая часть – по 2 пути) и представленных 3700 блоку участками, дающими информацию о прохождении поездов.

Для решения задачи требовалось согласованно перепланировать движение 810 поездов «на круге», где имеются высокоскоростные и обычные пассажирские поезда разных классов, при-

городные электрички, грузовые и технические поезда и некоторые другие (всего следовало учесть до 50 приоритетов поездов).

Горизонт планирования составляет от 6 до 18 ч.

Разработанная интеллектуальная система адаптивного управления движением поездов позволяет выполнять следующие функции:

- загружать описание инфраструктуры и базовое расписание движения поездов в качестве начальных данных системы;
- автоматически создавать расписание для всего множества поездов в рамках заданной инфраструктуры;
- адаптивно перестраивать расписание в реальном времени при возникновении любых непредвиденных событий.

В начале проекта в системе рассматривалось 5 основных критериев планирования, но к его концу их число возросло до более чем 85 предпочтений и ограничений, большая часть из которых является плохо формализуемыми, например:

- стремиться избежать неравномерного движения;
- не планировать скопления больших групп поездов на подходах к станциям;
- избегать встречного прохождения скоростных поездов и платформ перевозки открытых грузов (иначе щебенка бьет окна);
- планировать стоянки поездов только на подходящих путях;
- минимизировать выезды на встречный путь движения.

При этом построить сразу же с нуля наилучшее решение никак не представляется возможным – требуется слишком сложный комбинаторный перебор. Однако разработанная стратегия решения позволяет быстро построить первое грубое решение, а далее оценить слабые места и последовательно улучшать решение в нужном направлении, начиная от приоритетных поездов.

Разработанная система адаптивного управления движением поездов была внедрена в промышленную эксплуатацию на участке Москва – Санкт-Петербург в 2014 г. [6, 7].

Общие характеристики процесса построения расписания:

- память для построения расписания: 0,6–0,9 Гб;
- среднее число активных агентов в системе: около 40 тыс.;
- число согласований между уровнями планировщиков: 15–25;

- число сообщений в ходе построения расписания: > 1 млн шт.;

- время построения начального расписания: < 45 мин;

- время отработки события (до 50 изменений состояний поездов, станций или дороги): < 30 с.

Оценка качества результатов планирования:

- задержки движения высокоскоростных поездов класса «Сапсан» минимизированы практически до нуля;

- выполнение всех основных требований безопасности (интервалы между поездами, отсутствие поездов с щебенкой на встречной полосе и др.) – 99%;

- выполнение технических требований (время разгонов и торможения, выбор платформ, время стоянок и др.) – 97%;

- средняя задержка поездов на участке – менее 8% (до 30 поездов в конфликте);

- среднее время возврата к расписанию – в 1,5 раза быстрее, чем было ранее.

### Заключение

Современная ситуация с управлением индустриальной логистикой промышленных предприятий характеризуется двумя противоположными тенденциями: появлением современных и эффективных программных и технических решений в этой области и отсутствием интереса акционеров и топ-менеджмента промышленных корпораций к их практическому внедрению. К сожалению, основная причина здесь – принятие концепции о непрофильности логистической функции. В то время как развитые страны осваивают новые высоты в области управления логистикой во всех ее аспектах и получают за счет этого серьезные экономические выгоды, российские предприятия продолжают с упорством, достойным другого применения, определять логистику как функцию, которую надо передавать на аутсорсинг, а не развивать самостоятельно (или хотя бы совместно с профессиональными партнерами). Пока в этой части управленческого сознания не произойдет психологический перелом, пока логистику не назовут функцией, требующей опережающего развития, надеяться на серьезный прорыв в этой области не приходится.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эскин В.Н. Повышение эффективности функционирования железно-

дорожной отрасли в РФ // Логистика. – 2016. – № 4. – С. 48.

2. Ржевский Г.А., Скобелев П.О. Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для интеллектуальных систем управления предприятиями. – Самара: Офорт, 2015.

3. Шабунин А.Б., Чехов А.В., Ефремов Г.А. [и др.]. Решение конфликтов в графике движения поездов в реальном времени с использованием мультиагентных технологий // Труды 1-й научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ-2012». – М., 2012. – С. 51–55.

4. Шабунин А.Б., Кузнецов Н.А., Скобелев П.О. [и др.]. Разработка мультиагентной системы адаптивного управления ресурсами ОАО «РЖД» // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 1. – С. 23–29.

5. Шабунин А.Б., Чехов А.В., Ефремов Г.А. [и др.]. Интеллектуальная система управления эксплуатационной работой ОАО «РЖД» // Тезисы 3-й Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» (ИнтеллекТранс-2013). – СПб.: Петербургский госуниверситет путей сообщения, 2013. – С. 36.

6. Белоусов А.А., Ефремов Г.А., Степанов М.Е., Шабунин А.Б. Мультиагентный подход к решению сложной задачи построения расписаний в крупномасштабной системе управления железнодорожным движением // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2014): сборник научных трудов / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна; Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук. – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 252–262.

7. Belousov A.A., Goryachev A.A., Skobelev P.O., Stepanov M.E. Multi-agent method to adaptive real-time train scheduling with conflict limitations // Proceedings of the International Conference on Complex Systems in Business, Administration, Science and Engineering (Complex Systems 2015), 12–14 May, 2015. – New Forest (UK), 2015. – P. 253–265.